

I-27

局部座屈の影響を考慮した箱形断面鋼骨組の終局強度解析法

新日本製鐵(株) 正員○三輪 清貴 熊本大学工学部 正員 嶋元 達郎
熊本大学工学部 正員 山尾 敏孝

1. まえがき: 骨組構造の実務設計で使用可能な実用的終局強度解析法として、文献1)では、残留応力を考慮した単位長の部材を、はり-柱要素として断面分割法により弾塑性解析し、一定 t - M の下で平均軸ひずみを漸増して得られる軸力と平均ひずみの関係(N - M - ϵ 曲線)と、一定軸力下で曲率を漸増して得られる端 t - M と曲率の関係(M - N - ϕ 曲線)を求め、その曲線を陽な関数で近似した。そして、この関係を通常の棒要素を用いた骨組の有限変位解析法に持ち込み、近似曲線の接線勾配として接線軸剛性 EA_t 及び接線曲げ剛性 EI_t を評価し、有限変位と弾塑性を考慮した骨組の終局強度を解析する方法を提案した。本論文ではこの考えを発展させ、部材の構成板の局部座屈の影響を考慮した N - M - ϵ 関係及び M - N - ϕ 関係を求め、その関係を陽な関数で近似した。そして、その近似式を用いることにより、通常の骨組の弾性有限変位解析の計算労力で、弾塑性と構成板の初期不整に加え、局部座屈の影響を考慮して骨組の終局挙動を簡易に解析できたので報告する。

2. N - M - ϵ - ϕ 関係: 構成板の残留応力と初期たわみを考慮した無補剛正方形箱形断面鋼短柱の N - M - ϵ - ϕ 関係は、文献2)の板要素による弾塑性有限変位解析法を用いて求めた。解析手法の概要と短柱の諸元については、文献3)で述べたのでここでは割愛する。幅厚比 λ が $R=0.616$ (SM50材で $b/t=30$)の場合の解析結果をFig. 1、Fig. 2に実線で示す。図中、 M_y :降伏 t - M 、 ϕ_y :降伏曲率、 N_y :降伏軸力、 ϵ_y :降伏軸ひずみである。 M - N - ϕ 関係の近似式は、原点から曲げ M の最大値 M_m の点までを放物線で、それ以降を直線で近似して求めた。その近似式を以下に示す。

$$\begin{aligned} 0 \leq \phi \leq \phi_b & \quad M = -M_m(\phi/\phi_b - 1.0)^2 + M_m \\ \phi_b \leq \phi & \quad M = \gamma(\phi - \phi_b) + M_m \end{aligned} \quad (1)$$

ここに、 ϕ_b は任意の軸力 N が作用する場合に曲げが最大(M_m)となるときの曲率で、解析値に対する近似値として以下の式により与えられる。

$$\phi_b/\phi_y = 2.80 \exp(-1.50 * N_a) \quad (2)$$

ここに、 $N_a = [N + (N_y - N_u)/2.0] / [(N_u + N_y)/2.0]$ で、 N_u は局部座屈の影響を考慮した純圧縮強度であり、 R を用いて次式で与えられる。

$$N_u/N_y = (0.500/R)^{0.800} \leq 1.0 \quad (3)$$

式(3)と解析結果をFig. 3に示す。同図には、三上ら⁴⁾及び北田ら⁵⁾の強度曲線も参考のため示した。また、式(1)の直線の勾配 γ は曲げが最大となる点から曲率が ϕ_y の10倍となる領域で、ひずみ ϵ と ϕ が等価となる制約条件を用いて求めた。

$$\begin{aligned} N_a < 0 & \quad \gamma = 0.0 \\ N_a \geq 0 & \quad \gamma = -0.0796 * N_a^{0.481} \end{aligned} \quad (4)$$

また、式(1)で M_m は軸力 N_m が作用する時、次に示す終局相関強度

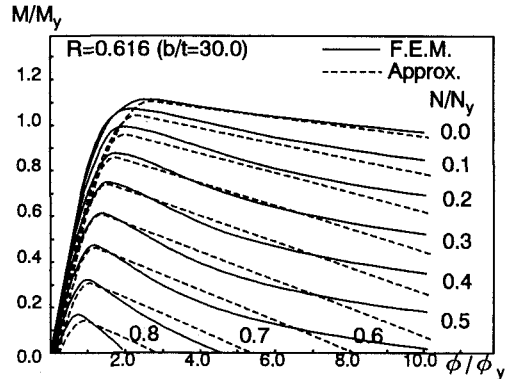
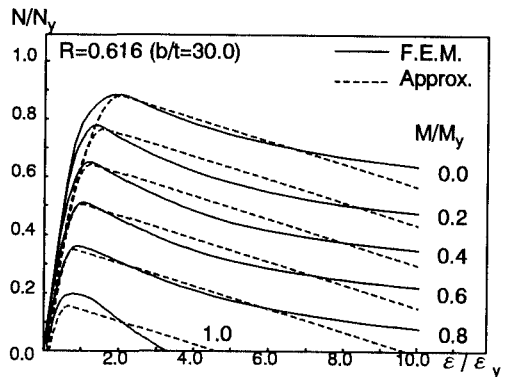
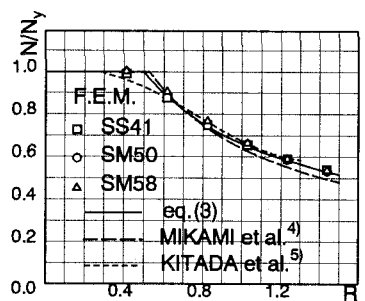
Fig. 1 M - N - ϕ curves and its approximationFig. 2 N - M - ϵ curves and its approximation

Fig. 3 Ultimate strength of box stub-column

式により与えられる。

$$\begin{aligned} -N_y \leq N_m < -(N_y - N_u)/2.0 \\ \left(\frac{-N_m - (N_y - N_u)/2.0}{(N_y + N_u)/2.0} \right)^{1.5} + \frac{|M_m|}{M_b} = 1.0 \\ -(N_y - N_u)/2.0 \leq N_m \leq N_u \\ \left(\frac{N_m + (N_y - N_u)/2.0}{(N_y + N_u)/2.0} \right)^{1.5} + \frac{|M_m|}{M_b} = 1.0 \end{aligned} \quad (5)$$

$R=0.616, 0.821, 1.232$ の場合の $N-M-\varepsilon-\phi$ 関係の頂点での軸力と曲げの組み合わせを Fig. 4 に、終局相関強度式(5)と併せて示す。また、式(5)で M_b は、軸引張力 $-(N_y - N_u)/2.0$ が作用する場合に最大となる曲げ強度で、全塑性 M_p を用いて次式で与えられる。

$$M_b/M_p = (0.501/R)^{0.187} \leq 1.0 \quad (6)$$

式(6)と解析結果を Fig. 5 に示す。同図には、純曲げ強度についても解析結果と北田ら⁶⁾の強度曲線を参考のため示した。なお、軸力は圧縮を正とした。以上の式により、 $M-N-\phi$ 関係の近似式は与えられる。 $N-M-\varepsilon$ 関係の近似式についても同様に与えられるが記述を省略する。 $R=0.616$ の場合の $M-N-\phi$ 関係の近似曲線を Fig. 1 に、 $N-M-\varepsilon$ 関係の近似曲線を Fig. 2 に、それぞれ破線で示す。

ここで、正方形箱形断面短柱の $N-M-\varepsilon-\phi$ 関係は、材料を完全弾塑性体としてひずみ硬化の影響を無視すると、幅厚比と鋼材の影響を R で代表できるため、式(1)は正方形断面に対し如何なる諸元にも適用可能である。

3. 解析法： 解析方法は、通常の棒要素による弾性有限変位解析法において、 $N-M-\varepsilon$ 関係及び $M-N-\phi$ 関係の勾配として接線軸剛性 EA_t 及び接線曲げ剛性 EI_t を評価し、次の段階の接線剛性マトリクスを作成する。接線剛性には、弾塑性と構成板の初期不整そして局部座屈の影響が考慮されているため、結果として骨組の解析にはそれらの影響が考慮されることになる。

4. 解析結果： 骨組解析の対象は、Fig. 6 に示す一定鉛直荷重 P と増大する水平荷重 H を受ける一層一支間の門形 γ - M で、 H と荷重載荷点での水平変位 Δ の関係を求めた。ただし、部材は全て正方形箱形断面とし、

ヤング率 $E=2.1 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ 、降伏応力 $\sigma_y=3200.0 \text{ kgf/cm}^2$ 、板厚 $t=1.0 \text{ cm}$ を用い、幅厚比 $b/t=30$ ($R=0.616$) の場合について解析した。また、要素分割

は、はり、柱とも10等分割とした。解析結果を Fig. 7 に示す。図中、 H_y :降伏水平荷重、 Δ_y :降伏水平変位、 P_y :降伏軸力である。同図には、宇佐見・寺尾⁷⁾の解析結果も比較のため示した。

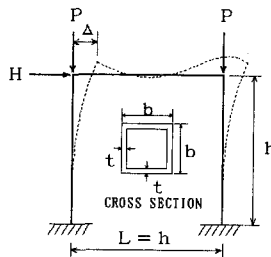


Fig. 6 Analytical frame

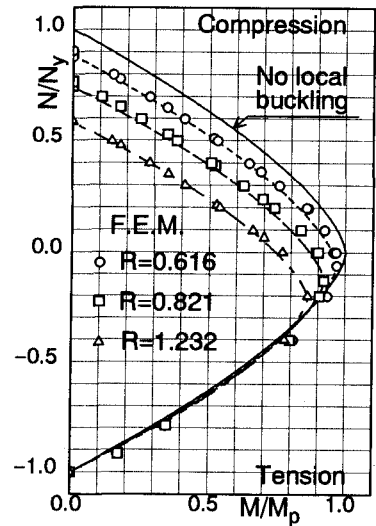


Fig. 4 Interaction curves of locally buckled box stub-column

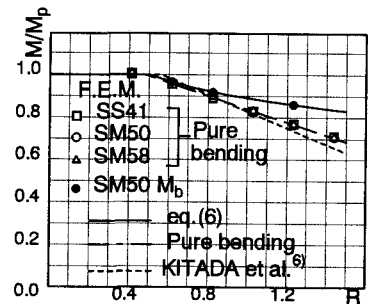


Fig. 5 Ultimate bending strength of box stub-column

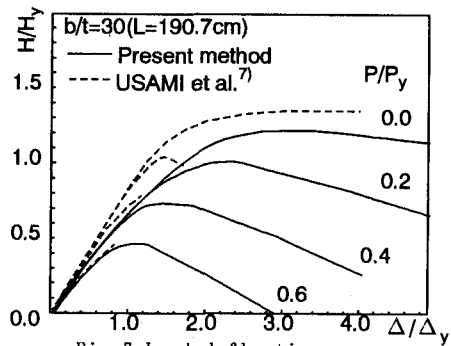


Fig. 7 Load-deflection curves

- 参考文献: 1) 嶋田・嶋田: 有効接線係数を用いた鋼骨組の全体強度設計法, 土木学会第47回年次学術講演会講演要旨集第1部, 1992. 9, pp. 288-289
 2) 山尾・嶋田: 板要素とはり要素の結合による薄肉鋼構造物の有限変位弾塑性解析, 構造工学論文集, Vol. 32A, 1986. 3, pp. 291-301
 3) 三輪・嶋田・山尾: 圧縮と曲げを受ける鋼箱形断面部材の局部座屈挙動の有限要素解析, 土木学会西部支部研究発表会, 1993. 3, pp. 42-43
 4) 三上・堂垣・米沢: 補剛圧縮板実験の調査と強度簡易算定法の評価, 土木学会論文報告集, 第334号, 1983. 3, pp. 181-184
 5) 中井・北田・酒造: 圧縮を受ける薄肉箱形短柱の終局強度特性と終局強度算定法に関する研究, 構造工学論文集, Vol. 31A, 1985. 3, pp. 65-77
 6) 中井・北田・國廣・中村・岸田: 組み合わせ断面力を受ける薄肉箱形断面短柱の局部座屈を……, 構造工学論文集, Vol. 36A, 1990. 3, pp. 89-100
 7) 宇佐美・寺尾: 局部座屈を考慮した箱形断面鋼骨組構造物の強度, 土木学会論文集, 第398号, 1988. 10, pp. 197-206